باب 13
بڑے پودوں میں ضیائی تالیف
(Photosynthesis in Higher Plants)

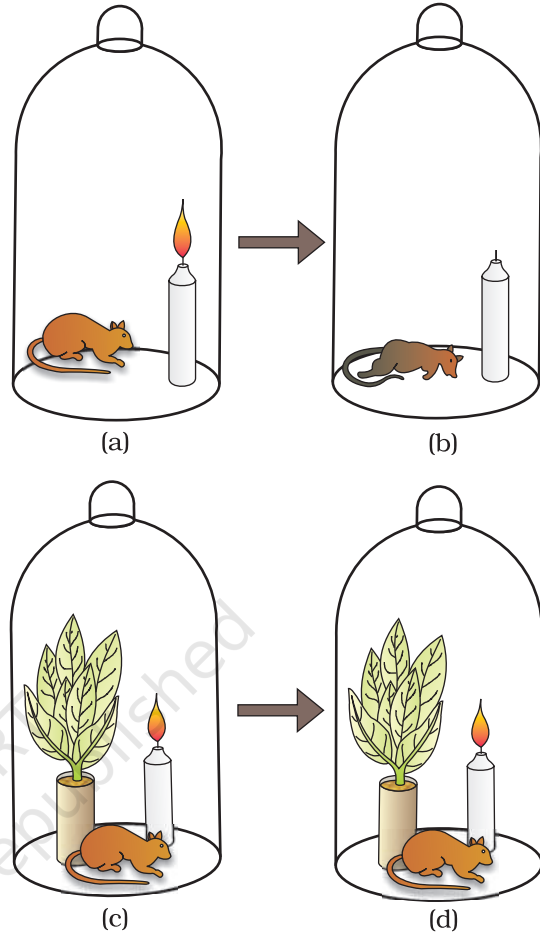
انسان سمیت تمام جانور اپنی غذا کے لیے پودوں پر منحصر ہیں۔کیا آپ نے کبھی سوچا ہے کہ پودے اپنی غذا کہاں سے حاصل کرتے ہیں؟ سبز پودوں کو دراصل اپنی غذا خود بنانی پڑتی ہے اور باقی سبھی جاندار عضویے اپنی غذائی ضروریات کے لیے پودوں پر منحصر رہتے ہیں۔سبز پودے ضیائی تالیف کرتے ہیں جو طبعی کیمیائی عمل ہے جس میں وہ نوری توانائی کا استعمال کرکے نامیاتی (Organic) مرکبات کی تالیف کرتے ہیں۔ بالآخر توانائی کے لیے زمین پر رہنے والے جاندار عضویوں کا انحصار سورج کی روشنی پر ہوتا ہے۔پودوں میں ضیائی تالیف کے دوران سورج کی روشنی کا استعمال زمین پر زندگی کی بنیاد ہے۔ضیائی تالیف، دو وجوہات کی بنا پر اہم ہے: زمین پر تمام غذا کا یہ ابتدائی منبع ہے اور یہ سبز پودوں سے آکسیجن فضا میں خارج کرنے کے لیے ذمہ دار ہے۔آپ نے کبھی سوچا ہے کہ اگر سانس لینے کے لیے آکسیجن نہ ہوتو کیا ہوگا؟ اس باب میں ضیائی تالیف کی مشینری کی ساخت اور ان عملوں کے بارے میں پڑھیں گے جو نوری توانائی کو کیمیائی توانائی میں تبدیل کرتے ہیں۔

13.1 ہم کیا جانتے ہیں؟ (What do we know?)

ذرا یہ معلوم کریں کہ ہم ضیائی تالیف کے بارے میں کیا جانتے ہیں؟ کچھ آسان تجربات آپ نے گذشتہ جماعتوں میں کئے ہوں گے جن سے یہ معلوم ہوا ہوگا کہ ضیائی تالیف کے لیے کلوروفل (پتوں میں موجود سبز پگمنٹ) سورج کی روشنی اور کاربن ڈائی آکسائڈ (CO_2) کی ضرورت ہوتی ہے۔

شکل 13.1 پریسلے کا تجربہ

آپ نے یہ تجربات کیے ہوں گے کہ داغ دار (Variegated) پتوں میں نشاستہ (اسٹارچ) بنتا ہے یا ایک پتی کو کالے کاغذ سے ڈھک کر اور دوسری کو کھلا رکھ کر اور جانچ کے بعد یہ معلوم ہوا ہوگا کہ صرف سبز پتیوں میں روشنی کی موجودگی میں ضیائی تالیف ہوتی ہے۔

دوسرا تجربہ آپ نے آدھی پتی کا کیا ہوگا جس میں پتی کا آدھا حصہ جانچ نلی میں رکھ دیا جاتا ہے جس میں پہلے سے KOH میں ڈبوئی ہوئی روئی (جو CO_2 کو جذب کر لیتی ہے) موجود تھی جبکہ دوسرا نصف حصہ ہوا میں کھلا چھوڑ دیا جاتا ہے اس پودے کو دھوپ میں کچھ دیر کے لیے رکھ دیا جاتا ہے۔ بعد میں دونوں پتیوں کے حصوں میں نشاستے کی موجودگی کی جانچ کرنے سے معلوم ہوتا ہے کہ کھلی ہوئی نصف پتی میں نشاستہ (Starch) موجود ہے جبکہ جانچ نلی والی پتی میں نہیں۔ اس سے معلوم ہوتا ہے کہ ضیائی تالیف کے لیے CO_2 ضروری ہے۔ کیا آپ بتا سکتے کہ اس تجربے سے یہ نتیجہ کیوں اخذ کیا گیا؟

13.2 ابتدائی تجربات (Early Experiments)

آسان تجربات کی مدد سے ضیائی تالیف کے بارے میں ہماری معلومات میں بتدریج اضافہ ہوا ہے۔ جوزف پریسلے (Joseph Priestley 1733-1804) نے 1770 کی دھائی میں سلسلے وار تجربات کر کے یہ بتایا کہ سبز پودے کی نمو میں ہوا کا بہت اہم کردار ہے۔ آپ کو معلوم ہوگا کہ پریسلے نے 1774 میں آکسیجن کی دریافت کی۔ پریسلے نے مشاہدہ کیا کہ اگر موم بتی کو بند فضا مثلاً بیل جار میں جلایا جائے تو جلد ہی بجھ جاتی ہے (شکل 13.1 a,b,c,d)۔ اسی طرح بند فضا میں چوہا بہت جلد گھٹن محسوس کرنے لگتا ہے۔ اس نے نتیجہ نکالا کہ جلتی ہوئی موم بتی یا سانس لیتا ہوا جانور کسی نہ کسی شکل میں ہوا کو نقصان پہنچاتا ہے۔ لیکن جب اس نے ایک سبز پودا بھی اس بیل جار میں رکھ دیا تو چوہا بھی زندہ رہا اور موم بتی بھی جلتی رہی۔ پریسلے نے یہ نتیجہ نکالا کہ سانس لینے والا جانور اور جلتی ہوئی موم بتی جو چیز ہوا سے نکال لیتی ہے اس کو پودا بحال کر دیتا ہے۔

کیا آپ تصور کر سکتے ہیں کہ پریسلے نے موم بتی اور پودے کا استعمال اس تجربے میں کیسے کیا ہوگا؟ یاد رکھیے کہ اسے موم بتی کو کچھ دنوں کے بعد دوبارہ جلانا تھا۔ یہ معلوم کرنے کے لیے کہ وہ دوبارہ جلتی ہے یا نہیں؟ اس سیٹ اپ میں بغیر خلل ڈالے موم بتی جلانے کے آپ کتنے طریقے سوچ سکتے ہیں؟

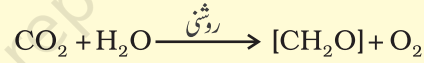
اس طرح کے تجرباتی سیٹ اپ کو ایک بار اندھیرے میں اور ایک بار سورج کی روشنی میں استعمال کر کے جان انجن ہاؤز (1730 - 1799) نے ثابت کیا کہ پودے کے لیے سورج کی روشنی لازمی ہے۔ پودے ضیائی تالیف کے ذریعہ ہوا کو صاف کرتے ہیں جو جلتی ہوئی موم بتی یا سانس لینے والے جانور نے خراب کر دی تھی۔ انجن ہاؤز نے آبی پودے پر ایک عمدہ تجربہ کر کے بتایا کہ سورج کی روشنی کی موجودگی میں سبز حصے کے پاس چھوٹے چھوٹے بلبلے بنتے ہیں

جبکہ یہ اندھیرے میں رکھنے پر نہیں بنتے۔ بعد میں اس نے دکھایا کہ یہ بلبلے آکسیجن کے ہوتے ہیں لہٰذا اس نے نتیجہ نکالا کہ صرف پودے کے سبز حصے ہی آکسیجن خارج کر سکتے ہیں۔

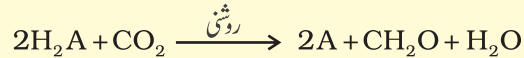
1854 کے آس پاس جولیس وان ساکس (Julius Von Sachs) نے ثبوت پیش کیے کہ پودوں کی نمو کے دوران گلوکوز کی تالیف ہوتی ہے۔ اس کے بعد کے مطالعے سے یہ معلوم ہوا کہ پودوں میں یہ سبز مادہ (جسے ہم اب کلوروفل کے نام سے جانتے ہیں) خلیوں میں موجود مخصوص ساختوں (کلوروپلاسٹ) میں پایا جاتا ہے۔ اس نے یہ بھی معلوم کیا کہ گلوکوز ان سبز حصوں میں ہی بنتا ہے، اور یہ کہ گلوکوز نشاستہ کی شکل میں جمع ہو جاتا ہے۔

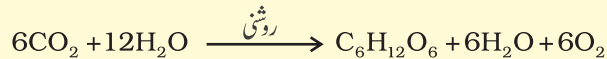
ایک دلچسپ تجربہ ٹی۔ ڈبلیو۔ اینگل مین (1843 - 1909) نے کیا۔ انہوں نے ایک سبز الجی کلیڈوفورا کو ہواباش بیکٹیریا کے معلقہ میں رکھا اور ایک پرزم (منشور) کے ذریعے روشنی کو اس کے سات قدرتی رنگوں میں توڑ کر اس سبز الجی پر ڈالا تو بیکٹیریا نے آکسیجن کے اخراج کی جگہوں کو ڈھونڈ نکالا۔ اس نے مشاہدہ کیا کہ اسپیکٹرم (طیف) کے نیلے اور لال خطوں کے پاس جمع ہو گئے۔ اس طرح ضیائی تالیف کا پہلا ایکشن اسپیکٹرم (Action Spectrum) وجود میں آیا۔ یہ کلوروفل a اور b کے انجذابی اسپیکٹرم سے مشابہت رکھتا ہے (جس کے بارے میں 13.4 میں بحث کریں گے)۔

انیسویں صدی کے وسط تک ضیائی تالیف کی کلیدی خصوصیات معلوم ہو چکی تھیں۔ وہ یہ کہ پودے CO_2 اور پانی سے روشنی کی موجودگی میں کاربوہائیڈریٹ بناتے ہیں۔ آکسیجن خارج کرنے والے عضویوں میں ضیائی تالیف کے مجموعی عمل کو ظاہر کرنے والی تجرباتی مساوات (Equation) کو اس وقت مندرجہ ذیل طریقے سے سمجھا گیا۔

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{روشنی}} [CH_2O] + O_2$$

جہاں $[CH_2O]$ کاربوہائیڈریٹ کو ظاہر کرتا ہے (مثلاً گلوکوز، چھ کاربن ایٹوں پر مشتمل شکر)۔

ضیائی تالیف سے متعلق ہماری معلومات میں اضافہ ایک مائیکرو بائیولوجسٹ کارنیلیس وان نیل (1897 - 1985) نے کیا اور یہ تعاون سنگ میل کی حیثیت رکھتا ہے۔ جامنی اور سبز بیکٹیریا کے مطالعے کی بنیاد پر اس نے دکھایا کہ ضیائی تالیف کا انحصار روشنی پر ہے۔ جس میں تکسید ہونے والے مرکبات سے ہائیڈروجن نکل کر کاربن ڈائی آکسائیڈ کی تحویل (Reduction) کرتی ہے۔ اسے ہم مندرجہ ذیل مساوات سے دکھا سکتے ہیں:

$$2H_2A + CO_2 \xrightarrow{\text{روشنی}} 2A + CH_2O + H_2O$$

سبز پودوں میں H_2O ہائیڈروجن معطی ہے اور اس کی O_2 میں تکسید ہو جاتی ہے۔ کچھ عضویے ضیائی تالیف کے دوران O_2 خارج نہیں کرتے۔ جامنی اور سبز سلفر بیکٹیریا میں جہاں H_2S پر ہائیڈروجن معطی ہے وہاں تکسیدی ماحصلات سلفر یا سلفیٹ ہوتے ہیں اور اس کا انحصار عضویہ پر ہوتا ہے نہ کہ O_2 پر۔ اس سے یہ نتیجہ نکالا کہ سبز پودوں میں O_2، کاربن ڈائی آکسائیڈ کے بجائے H_2O سے نکلتی ہے۔ اس کو بعد میں ریڈیو آئسوٹوپ تکنیک کی مدد سے ثابت کیا گیا۔ لہٰذا ضیائی تالیف کی صحیح نمائندگی کرنے والی مساوات مندرجہ ذیل ہے:

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{\text{روشنی}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

$C_6H_{12}O_6$ گلوکوز ہے۔ پانی سے آکسیجن خارج ہوتی ہے؛ اس کو ریڈیو آئسوٹوپک تکنیک سے ثابت کیا گیا۔ کیا آپ بتا سکتے ہیں کہ مندرجہ بالا مساوات میں پانی کے 12 سالمے سبس ٹریٹ (Substrate) کی حیثیت سے کیوں استعمال کیے گیے ہیں؟

13.3 ضیائی تالیف کا عمل کہاں واقع ہوتا ہے؟
(Where Does Photosynthesis Take Place?)

باب 8 میں جو کچھ آپ نے پہلے پڑھا ہے اس کی بنیاد پر آپ کا جواب ہوگا کہ سبز پتی یا کلورو پلاسٹ میں۔ آپ بالکل صحیح ہیں۔ قطعی طور پر ضیائی تالیف کا عمل سبز پتیوں میں واقع ہوتا ہے۔ لیکن یہ پودے کے دوسرے سبز حصوں میں بھی واقع ہوتا ہے۔ کیا آپ ان حصوں کے نام بتا سکتے ہیں جہاں آپ سمجھتے ہیں کہ ضیائی تالیف ہوسکتی ہے؟

گذشتہ باب کی بنا پر یاد کیجیے کہ پتیوں کے میزوفل خلیوں میں بڑی تعداد میں کلورو پلاسٹ ہوتے ہیں۔ عموماً کلورو پلاسٹ میزوفل خلیے کی دیوار سے ساتھ صف بندی لیتے ہیں تا کہ انہیں روشنی کی مناسب مقدار حاصل ہو سکے۔ آپ کے خیال میں کب کلورو پلاسٹ اپنی چپٹی سطح کو دیوار کے متوازی رکھتے ہیں اور کب وقوع پذیر روشنی کے لحاظ سے عمودی پر ہوتے ہیں۔

آپ نے کلورو پلاسٹ کی ساخت کے بارے میں باب 8 میں پڑھا ہے۔ کلورو پلاسٹ کے اندر گرینا، اسٹروما لیمیلی اور اسٹروما سیال پر مشتمل جھلیوں کا نظام ہوتا ہے۔ (شکل 13.2) صاف ظاہر ہے کہ کلورو پلاسٹ میں محنت کی تقسیم موجود ہے۔ جھلیوں کے نظام کی ذمہ داری روشنی کی توانائی کو قید کرنا اور اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کی تالیف ہے۔ اسٹروما میں خامروں کی مدد سے CO_2 پودے میں داخل ہو کر شکر کی تالیف کرتی ہے جو بعد میں نشاستے میں تبدیل ہو جاتی ہے۔ اول الذکر عملوں میں چونکہ روشنی کا دخل ہے لہٰذا یہ نوری تعاملات (Light reactions) کہلاتے ہیں۔ آخر الذکر عملوں کا انحصار و روشنی پر براہ راست نہیں ہوتا لیکن وہ لائٹ ری ایکشن کے ماحصلات اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ پر منحصر ہوتے ہیں۔ لہٰذا فرق کرنے کے لیے اس عمل کو تاریک تعامل (Dark reaction) کہتے ہیں۔ لیکن اس سے یہ اخذ کرنا کہ یہ صرف تاریکی میں ہی عمل پذیر ہوتے ہیں یا وہ روشنی پر منحصر نہیں ہوتے غلط ہوگا۔

بیرونی جھلی
اندرونی جھلی
اسٹرومل لیمیلا
گرینا
اسٹروما
رائبوسومز
نشاستے کے دانے
لپڈ کے چھوٹے قطرے

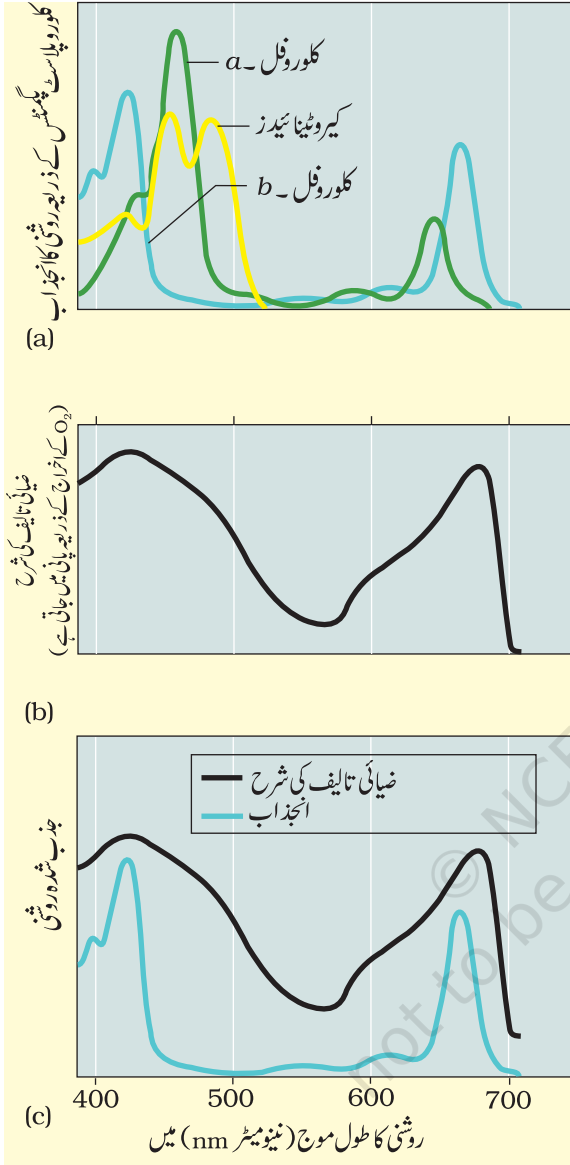
شکل 13.2 کلورو پلاسٹ کا الیکٹران مائیکروگراف

13.4 ضیائی تالیف میں کتنے پگمنٹس حصہ لیتے ہیں؟
(How Many Pigments are Involved in Photosynthesis?)

پودوں کو دیکھ کر کیا کبھی آپ نے سوچا ہے کہ ایک ہی پودے میں سبز رنگ کے اتنے سارے شیڈ کیوں اور کیسے ہوتے ہیں؟ پیپر کرومیٹوگرافی کے ذریعے پتیوں کے پگمنٹس کو الگ کر کے ہم اس سوال کا جواب تلاش کرنے کی کوشش کریں گے۔ پتیوں کے پگمنٹس کو کرومیٹوگرافک تکنیک کے ذریعے الگ کرنے پر معلوم ہوتا ہے کہ پتیوں کا رنگ صرف ایک پگمنٹ کی وجہ سے نہیں بلکہ چار پگمنٹس کی وجہ سے ہوتا ہے۔ وہ پگمنٹس کلوروفل a (چمکدار اور کرومیٹوگرام میں نیلا سبز) کلوروفل بی (زرد سبز) زینتھوفل (زرد) اور کیروٹینائیڈ (زرد سے زرد نارنجی تک)۔ آیئے اب دیکھیں کہ ضیائی تالیف میں کون سا پگمنٹ کیا کردار ادا کرتا ہے۔

پگمنٹس وہ مادے ہیں جو خاص طول موج (Waveleagth) کی روشنی کو جذب کرنے کی صلاحیت رکھتے ہیں۔ کیا آپ قیاس لگا سکتے ہیں کہ اس دنیا میں کون سا پگمنٹ کثرت سے ملتا ہے؟ اب ذرا اس گراف کو دیکھیے (شکل 13.3a) جو مختلف طول موج پر کلوروفل اے کے ذریعے مختلف طول موج کی روشنی کو جذب کرنے کی صلاحیت کو ظاہر کرتا ہے۔ امید ہے کہ آپ مرئی اسپیکٹرم (Visible Spectrum) اور (VIBGYOR) سے تو واقف ہوں گے۔

شکل 13.3a سے کیا آپ معلوم کر سکتے ہیں کہ کس طول موج (روشنی کا رنگ) پر کلوروفل اے سب سے زیادہ انجذاب کرتا ہے؟ کیا یہ کسی اور طول موج پر انجذابی چوٹی (Absorption Peak) دکھاتا ہے؟ اگر ہاں تو کس پر؟

اب شکل (13.3b) کو دیکھیے یہ اس طول موج کو ظاہر کرتی ہے جس پر پودوں میں سب سے زیادہ ضیائی تالیف ہو رہی ہے۔ کیا آپ دیکھ سکتے ہیں کہ وہ طول موج جن پر کلوروفل اے کے ذریعے سب سے زیادہ انجذاب ہو رہا ہے یعنی نیلے اور سرخ خطوں میں، وہیں پر ضیائی تالیف شرح کی سب سے زیادہ ہے۔ شکل 13.3c کو دیکھ کر کیا آپ کہہ سکتے ہیں کہ کلوروفل اے کے انجذابی اسپیکٹرم اور ضیائی تالیف کے ایکشن اسپیکٹرم کے درمیان مکمل یکسانیت ہے؟

شکل **13.3a** کلوروفل اے، بی اور کیروٹینائیڈ کے انجذابی اسپیکٹرم کا گراف

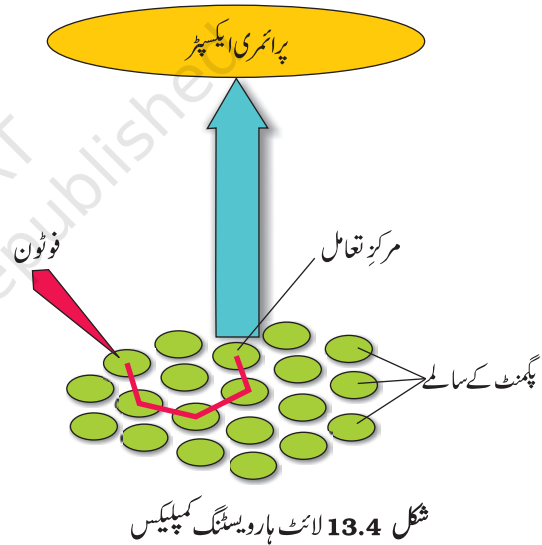
شکل **13.3b** ضیائی تالیف کے ایکشن اسپیکٹرم کا گراف

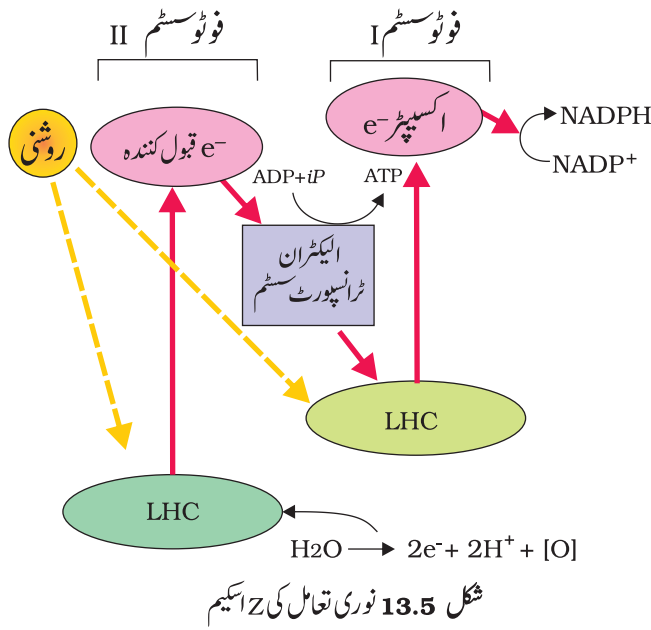
شکل **13.3c** ضیائی تالیف کے ایکشن اسپیکٹرم کلوروفل اے کے انجذابی اسپیکٹرم پر منطق گراف

یہ گراف، مجموعی طور پر، بتاتے ہیں کہ زیادہ تر ضیائی تالیف، اسپیکٹرم کے نیلے اور سرخ خطوں میں ہوتی ہے۔ کچھ ضیائی تالیف مرئی اسپیکٹرم کی دوسری طول موج میں بھی ہوتی ہے۔ اب دیکھیں یہ ہوتا کیسے ہے؟ حالانکہ کلوروفل روشنی کو قید کرنے کے لیے سب سے اہم پگمنٹ ہے لیکن تھائلا کوائڈ کے دوسرے پگمنٹس مثلاً کلوروفل بی، زینتھوفل اور کیروٹینائیڈ جن کو دیگر پگمنٹس کہتے ہیں وہ بھی روشنی کو جذب کرتے ہیں اور توانائی کو کلوروفل اے پر منتقل کردیتے ہیں۔ لہٰذا دیگر پگمنٹس نہ صرف آنے والے روشنی کی دوسری طول موج کو ضیائی تالیف کے لیے استعمال کرتے ہیں بلکہ کلوروفل اے کی ضیائی تکسید کو بھی روکتے ہیں۔

13.5 نوری تعامل کیا ہے؟ (What is a Light Reaction?)

نوری تعامل یا ضیائی کیمیائی دور میں نوری انجذاب، آب پاشیدگی (Hydrolysis)، آکسیجن کا اخراج اور بہت زیادہ توانائی والے کیمیائی ضمنی ماحصلات جیسے اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کی تشکیل شامل ہیں۔ اس عمل میں کئی کمپلیکس بنتے ہیں۔ پگمنٹس دو نمایاں ضیائی کیمیائی لائٹ ہارویسٹنگ کمپلیکس (LHC) جسے فوٹوسسٹم I (PSI) اور فوٹوسسٹم II (PS II) کہتے ہیں۔ ان کے نام ان کی دریافت کی ترتیب کے لحاظ سے رکھے گئے ہیں نا کہ نوری تعامل میں ان کاموں کی ترتیب کے حساب سے LHC پروٹین سے جڑے سینکڑوں پگمنٹ سالموں پر مشتمل ہوتا ہے۔ ہر فوٹوسسٹم میں کلوروفل اے کے علاوہ تمام پگمنٹس مل کر لائٹ ہارویسٹنگ نظام بناتے ہیں جسے انٹینا کہتے ہیں۔ (شکل 13.4) مختلف طول موج کو جذب کرکے یہ پگمنٹس ضیائی تالیف کے عمل کو مزید کارگر بناتے ہیں۔ لوروفل اے کا واحد سالمہ مرکزِ تعامل کی تشکیل کرتا ہے۔ یہ مرکز تعامل سینٹر دونوں نوری نظاموں میں مختلف ہوتا ہے۔ PS I میں مرکز تعامل کلوروفل اے کی انجذابی چوٹی 700(nm) ہوتی ہے لہٰذا اسے P700 کہتے ہیں جبکہ PS II میں انجذابی میکزما (Absorption maxima) 680(nm) پر ہوتا ہے اور P680 کہلاتا ہے۔

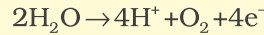
شکل 13.4 لائٹ ہارویسٹنگ کمپلیکس

13.6 الیکٹران ٹرانسپورٹ (The Electron Transport)

فوٹوسسٹم II میں ری ایکشن سینٹر کلوروفل اے 680nm طول موج وال سرخ روشنی کو جذب کرتا ہے جس کی وجہ سے الیکٹران آزاد ہو جاتے ہیں اور کود کر ایٹمی مرکزے سے ایک آربٹ اور دور چلے جاتے ہیں۔ الیکٹران قبول کنندہ مرکب ان کو قبول کرکے سائٹوکرومز پر مشتمل الیکٹران ٹرانسپورٹ نظام کو سونپ دیتا ہے (شکل 13.5)۔ تحویل تکسید یا ریڈاکس مضمر پیمانے کے اعتبار سے یہ الیکٹران پستی کی جانب منتقل ہوتے ہیں۔ الیکٹران ٹرانسپورٹ زنجیر میں منتقلی کے عمل کے دوران یہ الیکٹران استعمال نہ ہوکر فوٹوسسٹم PS I کو منتقل کردیے جاتے ہیں۔ بیک وقت جب فوٹوسسٹم PS I پر 700(nm) طول موج کی سرخ روشنی پڑتی ہے تو PSI ری ایکشن سسٹم کے الیکٹران بھی آزاد ہو جاتے ہیں

اور ان الیکٹران کو دوسرا مرکب قبول کرلیتا ہے جس کا تکسیدی اور تحویلی مضمر (Redox Poteatial) پہلے والے مرکب سے زیادہ ہوتا ہے۔ یہ الیکٹران بھی پستی کی جانب منتقل ہوتے ہیں لیکن اس دفعہ یہ توانائی سے بھر پور سالمے این اے ڈی پی (NADP) اور H^+ کی جانب منتقل ہوتے ہیں۔ الیکٹران اس سالمے سے مل کر ($NADP^+$)، میں تحویل ہو جاتا ہے۔ الیکٹران کی منتقلی کی پوری اسکیم جب کہ شروعات PS II سے ہوتی ہے، قبول کنندہ کی جانب اوپر جانا پھر پستی کی جانب الیکٹران ٹرانسپورٹ زنجیر سے گزر کر PSI پر جانا آزاد ہونا، دوسرے قبول کنندہ پر منتقل ہونا اور آخیر میں پستی کی جانب $NADP^+$ تک پہنچنا اور $NADP^+$ کی $NADPH+H^+$ میں تخفیف کرنے کے ان تمام عملوں کو ان کے راستوں کی شکل کے لحاظ سے 'Z' اسکیم کہتے ہیں۔ اس کی یہ شکل اسی وقت بنتی ہے جب تمام حمال تکسیدی وتحویلی مضمر کے پیمانے پر سلسلہ وار رکھے ہوئے ہوں۔

شکل 13.5 نوری تعامل کی Z اسکیم

13.6.1 ضیائی آب پاشیدگی (Splitting of Water)

آپ پوچھ سکتے ہیں کہ PSII کس طرح الیکٹران مسلسل مہیا کرتا رہتا ہے۔ فوٹوسسٹم II سے جدا ہوئے الیکٹران کی جگہ کو پُر کرنا نہایت لازمی ہے۔ ضیائی آب پاشیدگی PSII سے تعلق رکھتی ہے۔ پانی کا سالمہ H^+، [O] اور الیکٹران میں ٹوٹتا ہے۔ یہ آکسیجن بناتا ہے جو ضیائی تالیف کا ایک ماحصل ہے۔ فوٹوسسٹم I سے نکلے ہوئے الیکٹران کی جگہوں کو فوٹوسسٹم II سے نکلے ہوئے الیکٹران پر کرتے ہیں۔

$$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$$

ہمیں یہاں اس بات پر زور دینا ہے کہ آبی پاشیدگی کمپلیکس کا تعلق فوٹوسسٹم II سے ہوتا ہے، جو طبیعی طور پر تھائلا کوائیڈ جھلی کے اندرونی جانب موجود ہوتے ہیں۔ اب سوال یہ اٹھتا ہے کہ پروٹون اور آکسیجن جو بنتے ہیں وہ کہاں خارج ہوتے ہیں۔ لیومین کے اندر یا جھلی کے باہری جانب؟

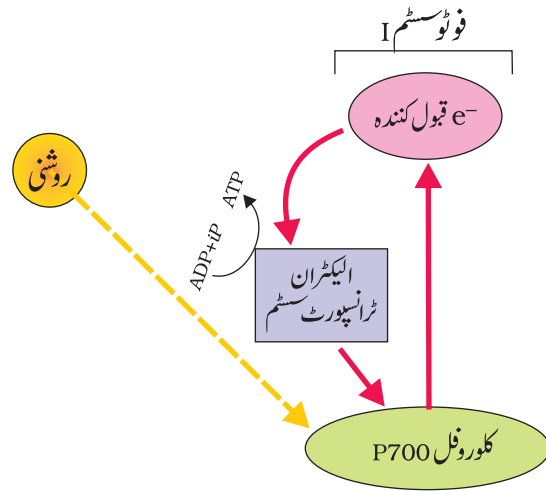
13.6.2 دائری اور غیر دائری فوٹو فوسفوریلیشن
(Cyclic and Non-cyclic Photo-phosphorylation)

جاندار عضویوں کی خاصیت یہ ہے کہ وہ تکسید ہونے والے سبسٹریٹ سے توانائی باہر نکالنے کی صلاحیت رکھتے ہیں۔ اور اس توانائی کو بانڈ توانائی (Bond Energy) کی شکل میں جمع کر سکتے ہیں۔ مخصوص مرکبات جیسے اے ٹی پی اس توانائی کو اپنے کیمیائی بانڈ میں جمع کر لیتے ہیں۔ اس عمل کے ذریعے خلیے میں (مائی ٹوکانڈریا اور کلورو پلاسٹ میں) اے ٹی پی کی تالیف ہوتی ہے، فوسفوریلیشن کہتے ہیں۔ روشنی کی موجودگی میں اے ڈی پی اور غیر نامیاتی فاسفیٹ سے اے ٹی پی کی تالیف کو فوٹو فوسفوریلیشن کہتے ہیں۔ جب دونوں فوٹوسسٹم تسلسل میں کام کرتے ہیں،

فوٹوسسٹم I
e^- قبول کنندہ
روشنی
ADP+iP ATP
الیکٹران ٹرانسپورٹ سسٹم
P700 کلوروفل

شکل 13.6 دائری فوٹو فاسفوریلیشن

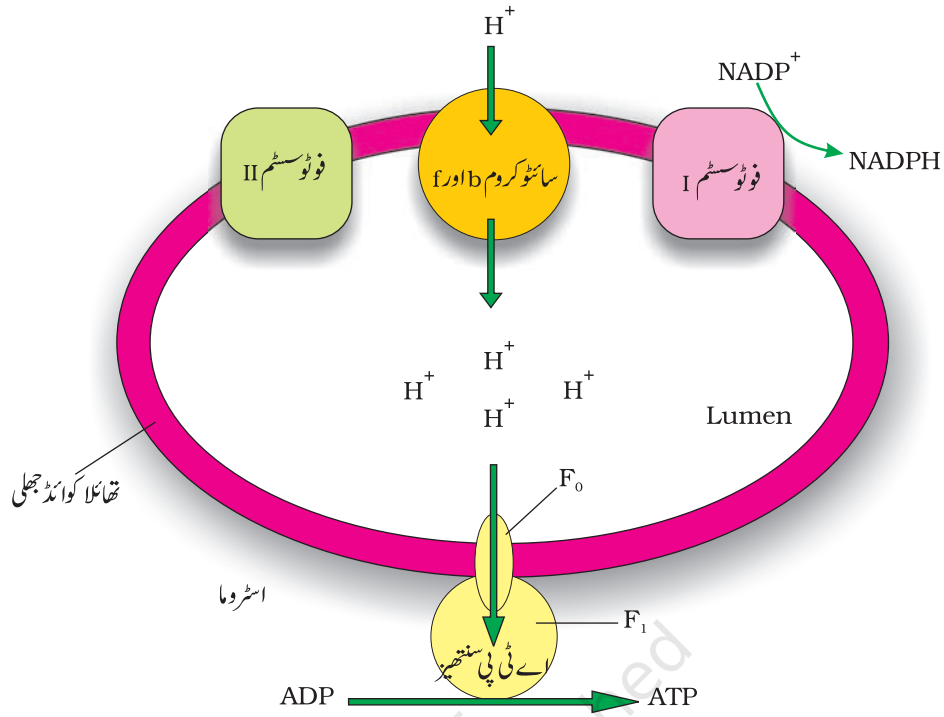
پہلے PSII اور اس کے بعد PSI تب غیر دائری فوٹو فوسفوریلیشن واقع ہوتا ہے۔ جیسا کہ ہم پہلے Z اسکیم میں دیکھ چکے ہیں۔ دونوں فوٹوسسٹم الیکٹران ٹرانسپورٹ زنجیر کے ذریعے آپس میں منسلک رہتے ہیں۔ ATPاور $NADPH+H^+$ دونوں کی تالیف اس طرح کے الیکٹران بہاؤ کے ذریعے ہوتی ہے (شکل 13.5)۔

جب صرف PSI کام کرتا ہے تو الیکٹران فوٹوسسٹم کے اندر ہی چکر لگاتا ہے اور فوسفوریلیشن، الیکٹران کے دائری بہاؤ کے ذریعے عمل میں آتا ہے (شکل 13.6)۔ اسٹروما لیملی وہ ممکن جگہ ہے جہاں یہ تمام عمل واقع ہوتے ہیں۔ گرینا کے لیملی کی جھلیوں میں PSI اور PSII ہوتا ہے، مگر اسٹروما لیملی میں PSII اور این اے ڈی پی ریڈکٹیز خامرہ نہیں ہوتا۔ آزاد الیکٹران $NADP^+$ پر نہ جا کر الیکٹران ٹرانسپورٹ زنجیر کے ذریعے واپس PSI پر آ جاتا ہے (شکل 13.6)۔ لہٰذا دائری بہاؤ صرف اے ٹی پی کی ہی تالیف کے دوران ہوتا ہے اور $NADPH+H^+$ کی تالیف میں نہیں ہوتا۔ دائری فوٹو فوسفوریلیشن اس حالت میں بھی ہوتا ہے جب الیکٹران کی آزادی کے لیے 680nm سے زیادہ طول موج والی روشنی مہیا رہتی ہے۔

13.6.3 کیمیائی ولوجی مفروضہ (Chemiosmotic Hypothesis)

اب ہم یہ سمجھنے کی کوشش کریں گے کہ اصل میں کلوروپلاسٹ میں اے ٹی پی کی تالیف کیسے ہوتی ہے؟ اس کو سمجھانے کے لیے کیمیائی ولوجی نظریہ پیش کیا گیا۔ تنفس کی طرح ضیائی تالیف میں بھی اے ٹی پی کی تالیف جھلی کے آر پار پروٹونوں کے ڈھلان سے جڑی ہوئی ہوتی ہے۔ اس دفعہ یہ جھلیاں تھائلا کوائیڈز کی ہیں لیکن ایک فرق یہ ہے کہ یہاں پروٹونوں کا ذخیرہ جھلی کی اندرونی جانب یعنی لیومین (Lumen) میں ہوتا ہے۔ تنفس میں پروٹون جب ای ٹی ایس (Electron Transport System) سے گزرتے ہیں تو ان کا ذخیرہ مائی ٹوکانڈریا کی دو جھلیوں کے درمیان ہوتا ہے (باب 14)۔

اب ذرا سمجھیں کہ جھلی کے آر پار پروٹونوں کے ڈھلان کی وجہ کیا ہے؟ اس کے لیے ہمیں ان عملوں کو ذہن میں رکھنا ہوگا جو پروٹونوں کی آزادی اور ان کی منتقلی کے دوران واقع ہوتے ہیں جو پروٹون ڈھلان کے پیدا ہونے کی وجہ ہیں (شکل 13.7)۔

(a) چونکہ آب پاشیدگی جھلی کے اندرونی جانب ہوتی ہے، لہٰذا اس سے بننے والے پروٹونز یا ہائیڈروجن آین کی تذخیر تھائلا کوائیڈز کے لیومین میں ہوتی ہے۔

(b) الیکٹرانز جیسے جیسے نور نظاموں (Photosystems) سے گزرتے ہیں پروٹون جھلی کے پار نکل جاتے ہیں۔ یہ اس وجہ سے ممکن ہوتا ہے کہ ابتدائی الیکٹران قبول کنندہ جو جھلی کے بیرونی جانب واقع ہوتا ہے الیکٹران کو الیکٹران کیریئر پر نہ منتقل کر کے H کیریئر پر منتقل کر دیتا ہے۔ لہٰذا یہ سالمہ اسٹروما سے ایک پروٹون ہٹاتا ہے اور ایک وقت ایک الیکٹران کو منتقل کرتا ہے۔ جب یہ سالمہ اپنے الیکٹران کو جھلی کے اندرونی جانب موجود الیکٹران کیریئر پر منتقل کرتا ہے تو ایک پروٹان اندرونی جانب یا جھلی کی لیومین کی جانب خارج ہو جاتا ہے۔

شکل 13.7 کیمیائی ولوج کے ذریعہ اے ٹی پی (ATP) کا بننا

(c) NADP ریڈکٹیز خامرہ جھلی میں اسٹروما کی جانب ہوتا ہے۔ $NADP^+$ سے $NADPH + H^+$ کی تحویل کے لیے، PSI کے الیکٹران ایکسیپٹر سے نکلے ہوئے الیکٹران اور پروٹون کی موجودگی لازمی ہے۔ یہ پروٹون اسٹروما سے بھی باہر نکلتے ہیں۔

لہٰذا کلورو پلاسٹ کے اندر اسٹروما میں پروٹونوں کی تعداد میں کمی آجاتی ہے جبکہ لیومین میں پروٹون اکٹھے ہوجاتے ہیں۔ اس طرح سے تھائلا کوائیڈ جھلی کے آر پار پروٹون ڈھلان کی ایک تدریج پیدا ہوتا ہے اور لیومین کے pH میں مقابل لحاظ کمی واقع ہوجاتی ہے۔

ہم پروٹون ڈھلان کی تدریج میں کیوں اتنی دلچسپی رکھتے ہیں؟ یہ ڈھلان اس لیے اہم ہے کیونکہ یہ اس ڈھلان کا بریک ڈاون ہے جس سے توانائی کا اخراج ہوتا ہے۔ یہ ڈھلان اس وقت ٹوٹ جاتا ہے جب پروٹان AT Pose کے ٹرانس ممبرین چینل کے F_0 کے ذریعے اسٹروما کی طرف جھلی کے آر پار حرکت کرتے ہیں۔ آپ نے اے ٹی پی اور اے ٹی پیز خامرے کے بارے میں باب 12 میں پڑھا ہے۔ آپ کو یاد ہوگا کہ اے ٹی پیز خامرہ دو حصوں پر مشتمل ہوتا ہے:
ایک حصہ F_0 کہلاتا ہے جو جھلی میں دھنسا رہتا ہے اور اس کے آر پار ایک چینل بناتا ہے جو جھلی کے پار پروٹانوں کے نفوذ کا ذریعہ بنتا ہے دوسرا حصہ F_1 کہلاتا ہے جو تھائلا کوائڈ کی بیرونی سطح کی طرف نکلا رہتا ہے یعنی جھلی کی اس جانب جس کا رخ اسٹروما کی طرف ہوتا ہے۔ ڈھلان بریک ڈاؤن کی وجہ سے جو توانائی پیدا ہوتی ہے اس سے اے ٹی پیز کے F_1 حصے میں ساختی تبدیلی آتی ہے جس کی وجہ سے خامرہ توانائی سے بھرپور اے ٹی پی کے کئی سالموں کی تالیف کرتا ہے۔

کیمیائی ولوج (Chemiosmosis) کے لیے ایک جھلی، ایک پروٹون پمپ، پروٹون ڈھلان اور اے ٹی پیز خامرے کی ضرورت ہوتی ہے۔ تھائلا کوائڈ لیومین میں ڈھلان پیدا کرنے کے لیے یا پروٹونوں زیادہ ذخیرہ کے لیے

اور پروٹون کو جھلی کے پار پروٹونوں کو پمپ کرنے کے لیے توانائی کا استعمال کیا جاتا ہے۔ اے ٹی پیز کے پاس ایک چینل ہے جس کے ذریعے جھلی کے پار پروٹونوں کا نفوذ ہوتا ہے، اس عمل سے جو توانائی خارج ہوتی ہے وہ اے ٹی پیز خامرے کو فعال بنانے کے لیے کافی ہوتی ہے جو اے ٹی پی کے تالیفی عمل میں مدد دیتا ہے۔

الیکٹرانوں کی منتقلی سے NADPH کی تالیف کے ساتھ ساتھ اسٹروما میں واقع ہونے والے حیاتی تالیف (Bio Synthesis) کے عمل میں ATP فوراً کام آجاتی ہے جو CO_2 کی تثبیت (Fixation) اور مختلف شکر کی تالیف کے لیے ذمہ دار ہے۔

13.7 اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کہاں استعمال ہوتے ہیں؟

(Where are the ATP and NADPH Used?)

ہم جانتے ہیں کہ نوری تعامل کے ماحصل اے ٹی پی، این اے ڈی پی ایچ اور آکسیجن ہوتے ہیں۔ ان میں سے آکسیجن کلوروپلاسٹ سے باہر نفوذ ہو جاتی ہے جبکہ اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ غذا کی خاص طور پر شکر کی تالیف کے عملوں کو چلانے میں استعمال ہوتے ہیں۔ یہ ضیائی تالیف کا حیاتیات تالیفی دور ہے۔ یہ عمل بالواسطہ روشنی کی موجودگی پر منحصر نہیں ہوتا بلکہ نوری تعامل کے ماحصل پر منحصر ہوتا ہے یعنی CO_2 اور H_2O کے علاوہ اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ پر۔ آپ سوچ رہے ہوں گے کہ اس کی تصدیق کیسے کی جاتی ہے؟ یہ بہت آسان ہے: روشنی کی غیر دستیابی کے فوراً بعد کچھ دیر تک حیاتیاتی تالیفی عمل جاری رہتا ہے اور اس کے بعد رک جاتا ہے۔ اگر اس وقت روشنی دوبارہ مہیا کر دی جائے تو یہ تالیفی عمل دوبارہ شروع ہو جاتا ہے۔ تو کیا ہم کہہ سکتے ہیں کہ اس حیاتیاتی تالیفی عمل کو تاریک تعامل کہنا اصطلاح کا غلط استعمال ہے؟ اس موضوع پر آپس میں بحث کیجیے۔

اب معلوم کریں کہ اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ حیاتیاتی تالیفی عمل میں کس طرح استعمال ہوتے ہیں۔ ہم پہلے پڑھ چکے ہیں کہ CO_2 اور H_2O باہم مل کر $(CH_2O)_n$ یا شکر بناتے ہیں۔ سائنسدانوں کی دلچسپی اس بات میں تھی کہ یہ تعامل کیسے آگے بڑھتا ہے، یا CO_2 جب اس تعامل میں داخل ہوتی ہے تو پہلا ماحصل کیا ہوتا ہے یا CO_2 کی تثبیت کیسے ہوتی ہے؟ دوسری جنگ عظیم کے فوراً بعد ریڈیو ہم جا (Radio Isotops) کو بہت سارے دیگر مفید استعمال میں لانے کے لیے کی گئی متعدد کوششوں میں، میلون کیلون کا کام قابل تقلید ہے۔ الگی میں ضیائی تالیف کے مطالعے کے دوران اس نے ^{14}C ریڈیو ہم جا کا استعمال کیا اور یہ دریافت کیا کہ CO_2 کی تثبیت کے عمل کا پہلا ماحصل تین کاربن والا نامیاتی ایسڈ ہوتا ہے۔ بعد ازاں اس نے مکمل حیاتیاتی تالیفی پاتھ وے (Biosynthetic Pathway) معلوم کیا اور اس نسبت سے اس پاتھ وے کو کیلون سائیکل کہتے ہیں۔ 3 فاسفوگلیسرک ایسڈ یا پی جی اے کی شکل میں پہلے ماحصل کی شناخت ہوئی۔ اس میں کاربن کے کتنے ایٹم ہوتے ہیں؟

سائنسدانوں نے یہ بھی معلوم کرنے کی کوشش کی کہ کیا ہر پودے میں پی جی اے، CO_2 تثبیت کا پہلا ماحصل ہوتا ہے اور کیا دوسرے پودوں میں کوئی اور ماحصل ہوتا ہے۔ بہت سارے پودوں پر تجربات کے دوران معلوم ہوا کہ پودوں کا ایک ایسا گروپ بھی ہے جن میں CO_2 تثبیت کا پہلا ماحصل ایک نامیاتی تیزاب ہی ہے مگر اس میں چار کاربن ایٹم ہوتے ہیں۔ اس کی شناخت آگزیلو اسیٹک ایسڈ یا او، اے اے کی شکل میں گئی اس انکشاف کے بعد کہا گیا

کہ ضیائی تالیف کے دوران CO_2 کا استحالہ دوقسم کا ہوتا ہے: وہ پودے جن میں CO_2 تثبیت کا پہلا ماحصل C_3 ایسڈ (PGA) ہے یعنی C_3 پاتھ وے، اور دوسرا گروپ ان پودوں کا ہوتا ہے جن میں پہلا ماحصل C_4 ایسڈ (او۔اے۔اے) ہوتا ہے یعنی C_4 پاتھ وے کہلاتا ہے۔ پودوں کے ان دونوں گروپوں سے کچھ اور خصوصیات بھی منسلک ہوتی ہیں جن کا ذکر ہم بعد میں کریں گے۔

13.7.1 کاربن ڈائی آکسائیڈ کا ابتدائی اکسیپٹر (The Primary Acceptor of CO_2)

ایک سوال ہم اپنے آپ سے پوچھنا چاہتے ہیں جو ان سائنسدانوں نے پوچھا تھا جو تاریک تعامل کے بارے میں مزید سمجھنے کی کوشش میں لگے ہوئے تھے۔ اس سالمے میں کاربن کے کتنے ایٹم ہوں گے جس میں CO_2 کو قبول (تثبیت کے دوران) کرنے کے بعد (پی جی اے کے) تین کاربن ہوتے ہیں؟

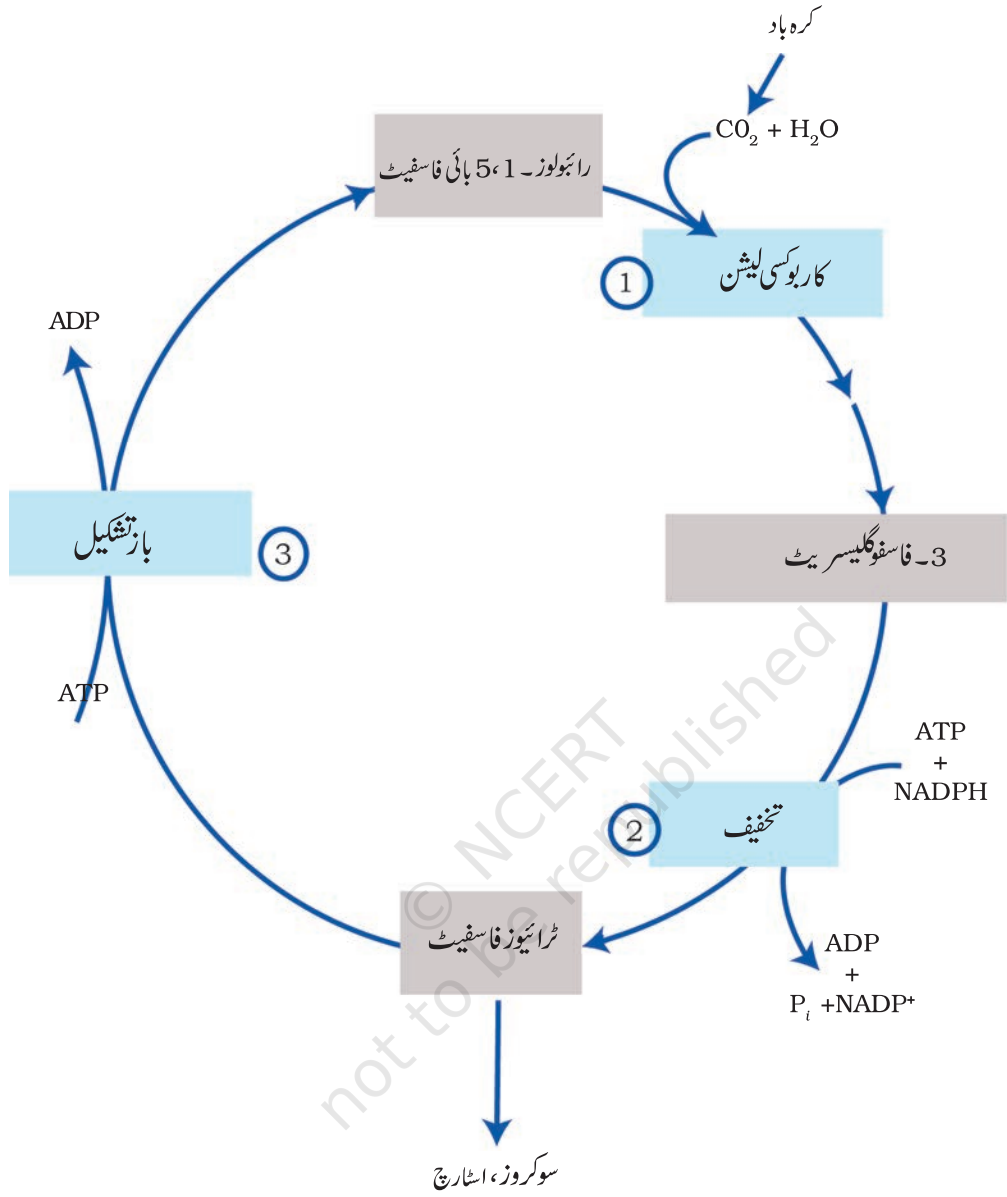
خلاف توقع، تحقیق کے دوران معلوم ہوا کہ قبول کنندہ سالمہ پانچ کاربن ایٹم والا کیٹوز شکر (Ketose Sugar)، رائبولوز بائی فاسفیٹ (RuBP) ہے۔ کیا آپ نے اس امکان کے بارے میں سوچا تھا؟ پریشان نہ ہوں، سائنسدانوں کو بھی بہت تجربات کرنے کے بعد اس نتیجے پر پہنچنے میں کافی عرصہ لگا۔ پانچ کاربن والا RuBP مرکب تلاش کرنے سے پہلے ان کا بھی یہ قیاس تھا کہ چونکہ پہلا ماحصل C_3 تیزاب تھا لہٰذا ابتدائی قبول کنندہ دو کاربن والا مرکب ہوگا؛ انہوں نے کئی سال دو کاربن مرکب تلاش کرنے میں صرف کر دیے۔

13.7.2 کیلون دور (The Calvin Cycle)

کیلون اور اس کے ساتھیوں نے پورے پاتھ وے پر کام کیا اور معلوم کیا کہ یہ دوری طور (Cyclic Manner) پر چلتا ہے اور RuBP دوبارہ پیدا ہوتا ہے۔ اب ہم معلوم کریں گے کہ کیلون پاتھ وے کیسے عمل میں آتا ہے اور شکر کی تالیف کہاں ہوتی ہے۔ سب سے پہلے یہ جان لینا ضروری ہے کہ کیلون پاتھ وے ہر اس پودے میں ہوتا ہے جو ضیائی تالیف کرتا ہے اور یہ اہم نہیں ہے کہ ان میں C_3 یا C_4 یا کوئی اور پاتھ وے ہوتا ہے (شکل 13.8)۔

آسانی کے لیے کیلون دور کو تین حصوں میں بانٹا جاسکتا ہے: کاربوکسی لیشن، تحویل اور بازتشکیل۔

1۔ **کاربا کسی لیشن۔** CO_2 کی مستحکم نامیاتی ضمنی ماحصلات میں تبدیلی کاربوکسی لیشن ہے۔ کاربوکسی لیشن، کیلون دور کا فیصلہ کن مرحلہ ہے جس میں CO_2 کا استعمال RuBP کے کاربوکسی لیشن میں ہوتا ہے۔ خامرہ RuBP کاربوکسی لیز اس تعامل میں مدد کرتا ہے اور 3 پی جی اے کے دو سالموں کی تالیف کرتا ہے۔ چونکہ یہ خامرہ آکسیجنیشن بھی کرتا ہے اس لیے بہتر ہوگا کہ اس کو RuBP کاربوکسی آکسیجنیز یا RuBisCO کا نام دیا جائے۔

2۔ **تحویل:۔** یہ سلسلہ وار تعاملات ہیں جو آخیر میں گلوکوز بناتے ہیں۔ اس میں CO_2 کے ایک سالمے کی تثبیت کے لیے دو اے ٹی پی کے سالمے فوسفوریلیشن میں اور تحویل کے لیے دو این اے ڈی پی ایچ کے سالمے استعمال ہوتے ہیں۔ اس پاتھ وے سے گلوکوز کے ایک سالمے کو ہٹانے کے لیے CO_2 کے چھ سالموں کی تثبیت اور دور کے چھ چکروں کی ضرورت ہوتی ہے۔

شکل 13.8 کیلون دو رتین مرحلوں میں مکمل ہوتا ہے۔1۔ کاربوکسی لیشن، جس کے دوران CO_2 ، رائبولوز 1-5 بائی فاسفیٹ سے کے ساتھ متحد ہوجاتی ہے۔2۔ بازتشکیل، اس کے دوران ضیائی کیمیائی طریقے سے بنے اے ٹی پی اور این ڈی پی ایچ کے استعمال سے کاربوہائڈریٹ بنتا ہے۔اور 3۔ بازتشکیل کے دوران CO_2 کو حاصل کرنے والا 5,1 بائی فاسفیٹ دوبارہ بنتا ہے تا کہ یہ دور جاری رہ سکے۔

3۔ بازتشکیل:۔ اگر اس دور کو بغیر کسی خلل چلتے رہنا ہے تو CO_2 قبول کنندہ سالمہ RuBP کی بازتشکیل نہایت ضروری عمل ہے۔ بازتشکیل کے مراحل میں فوسفوریلیشن کے ذریعے RuBP بنانے کے لیے ایک عدد اے ٹی پی کی ضرورت پڑتی ہے۔

لہٰذا کیلون دور میں داخل ہونے والے ہر CO_2 سالموں کے لیے اے ٹی پی کے تین سالموں اور این اے ڈی پی ایچ کے دو سالموں کی ضرورت ہوتی ہے۔ اور شاید تاریک تعامل میں استعمال ہونے والے اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کی تعداد میں اس کمی کو پورا کرنے کے لیے دائری فاسفوریلیشن عمل میں آتا ہے۔

گلوکوز کا ایک سالمہ بنانے کے لیے دور کے چھ چکر درکار ہوتے ہیں۔ معلوم کیجیے کہ کیلون پاتھ وے کے ذریعے گلوکوز کے ایک سالمے کی تالیف کے لیے اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کے کتنے سالموں کی ضرورت ہوگی؟

اگر ہم غور کریں کہ کیلون دور میں کیا داخل ہوتا ہے اور کیا خارج ہوتا ہے تو شاید ہمیں یہ سمجھنے میں آسانی ہوجائے گی۔

داخل	خارج
چھ CO_2	ایک گلوکوز
18 اے ٹی پی	18 اے ڈی پی
12 این اے ڈی پی ایچ	12 این اے ڈی پی

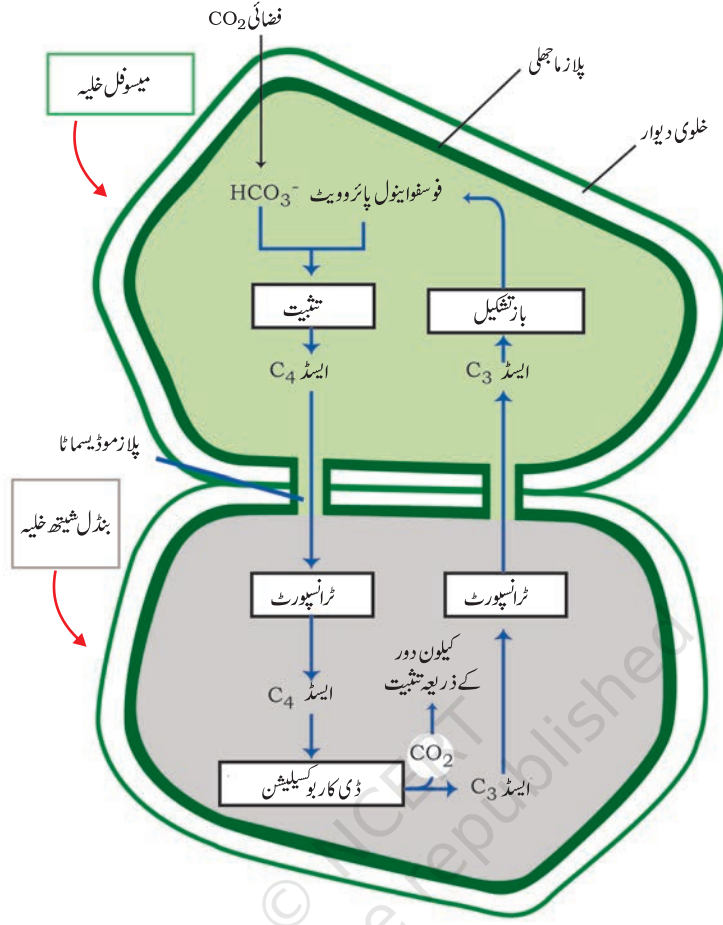
13.8 C_4 پاتھ وے (The C_4 Pathway)

خشک گرم سیر علاقوں میں پائے جانے والے پودوں میں C_4 پاتھ وے ہوتا ہے۔ حالانکہ ان میں C_4 آگزیلو اسٹیک ایسڈ CO_2 تثبیت کا پہلا ماحصل ہوتا ہے مگر یہ C_3 پاتھ وے یا کیلون دور کا استعمال خاص حیاتیاتی تالیفی پاتھ وے کے طور پر کرتے ہیں۔ اب آپ یہ سوال پوچھ سکتے ہیں کہ یہ C_3 پودوں سے کس طرح مختلف ہیں؟

C_4 خاص پودے ہیں جن کی پتیوں کی ایک مخصوص اناٹومی ہے، ان میں زیادہ درجۂ حرارت برداشت کرنے کی صلاحیت ہوتی ہے، ان میں روشنی کی زیادہ شدت کے تئیں ردِعمل ہوتا ہے، ان میں ضیائی تنفس (Photorespiration) نہیں ہوتا اور غیر معمولی مقدار میں بائیوماس پیدا کرتے ہیں۔

تجربہ گاہ میں، ایک C_3 اور ایک C_4 پودے کی پتی کے عمودی سیکشن کا مطالعہ کیجیے۔ کیا آپ کوئی فرق محسوس کرتے ہیں؟ کیا دونوں میں ایک ہی طرح کی میزوفل ہیں۔ ویسکولر بنڈل کے غلاف کے اطراف کے خلیے کیا ایک ہی طرح کے ہیں۔

C_4 پاتھ وے والے پودوں کے ویسکولر بنڈل کے اطراف میں خصوصاً بڑے خلیے بنڈل شیتھ خلیے کہلاتے ہیں، اور وہ پتیاں جن میں اس طرح کی اناٹومی ہوتی ہے کرانز اناٹومی (Kranz Anatomy) کہلاتی ہے۔ خلیوں کی ترتیب کی بنا پر جن کی شکل کرانز یعنی ریتھ جیسی ہوتی ہے۔ ویسکولر بنڈلز کے چاروں طرف بنڈل شیتھ خلیوں کی کئی پرتیں ہوسکتی ہیں، کلوروپلاسٹ کی کثرت سے موجودگی ان کی خاصیت ہے۔ خلوی دیواریں دبیز ہوتی ہیں جو گیس کے تبادلے کی مزاحمت کرتی ہیں اور خلیوں کے درمیان خالی جگہیں نہیں ہوتیں۔ کرانز اناٹومی اور خلیوں میں میزوفل کی ترتیب کے مشاہدے کے لیے آپ C_4 پودوں یعنی مکا یا جوار کی پتیوں کے سیکشن کاٹیں اور اندرونی ساخت کا مطالعہ کریں۔

آپ کے لیے یہ دلچسپ مشغلہ ہوگا کہ آس پاس کے مختلف پودوں کی پتیاں جمع کریں اور ان کے عمودی سیکشن کاٹیں اور خوردبین کے ذریعے ان کا مشاہدہ کریں خاص طور سے ویسکولر بنڈلوں کے اطراف بنڈل شیتھ کا مطالعہ کریں۔ بنڈل شیتھ کی موجودگی آپ کو C_4 پودے پہچاننے میں مدد کرے گی۔

شکل 13.9 ہیچ اور سلیک پاتھ وے: بہت مختصر میسوفل اور بی ایس خلیہ دکھاتے ہوئے۔

اب شکل 13.9 میں دیے گیے پاتھ وے کا مطالعہ کریں۔ اس پاتھ وے کا نام ہیچ اور سلیک پاتھ وے (Hatch and Slack Pathway) ہے اور یہ بھی دوری عمل ہے (Cyclic Process)۔

تین کاربن سالمہ فاسفوائینال پائی رووِیٹ (پی ای پی) ابتدائی CO_2 ایکسیپٹر ہے اور میزوفل خلیوں میں موجود ہوتا ہے۔ اس تثبیت کا ذمہ دار خامرہ پی ای پی کاربوکسی لیز یا پی ای پی کیز (PEP case) ہوتا ہے۔ خیال رہے کہ میزوفل خلیوں میں RuBisCO خامرہ نہیں ہوتا۔ C_4 ایسڈ او اے اے میزوفل خلیوں میں بنتا ہے۔

پھر یہ میزوفل خلیوں میں دیگر چار کاربن والے مرکبات جیسے میلک ایسڈ یا ایسپارٹک ایسڈ بناتا ہے، جو بنڈل شیتھ کے خلیوں میں منتقل ہو جاتا ہے۔ یہاں یہ C_4 ایسڈ CO_2 اور تین کاربن سالموں میں ٹوٹ جاتا ہے۔ تین کاربن والے سالمے واپس میزوفل میں منتقل ہو جاتے ہیں جہاں وہ پی ای پی میں تبدیل ہو جاتے ہیں اور اس طرح یہ دور تکمیل کو پہنچاتا ہے۔

بنڈل شیتھ کے خلیوں سے خارج شدہ CO_2 کیلون یا C_3 پاتھ وے میں داخل ہوتی ہے جو تمام پودوں میں پائی جاتی ہے بنڈل شیتھ خلیوں میں RuBisCO کثرت سے پایا جاتا ہے لیکن ان میں PEPcase نہیں ہوتا۔ لہٰذا

بنیادی پاتھ وے جس کے نتیجے میں شکر بنتی ہے یعنی کیلون سائیکل C_3 اور C_2 پودوں میں مشترک ہوتی ہے۔ کیا آپ نے ذہن نشین کیا کہ C_3 کیلون پاتھ وے پودوں کے تمام میزوفل میں واقع ہوتا ہے اور C_4 پودوں کے میزوفل خلیوں میں نہ ہو کر صرف بنڈل شیتھ کے خلیوں میں واقع ہوتا ہے۔

13.9 ضیائی تنفس (Photorespiration)

اب ہم ایک اور عمل ضیائی تنفس پر یعنی غور کریں گے جو C_3 اور C_4 پودوں میں تفریق کرتا ہے۔ اس کو سمجھنے کے لیے ہمیں کیلون پاتھ وے کے پہلے مرحلہ یعنی CO_2 کی تثبیت کے پہلے مرحلہ کے بارے میں مزید معلومات حاصل کرنی ہوگی یعنی یہ وہ تعامل ہے جہاں RuBP، CO_2 سے مل کر 3 پی جی اے کے دو سالمے بناتا ہے اور RuBisCO خامرہ اس میں مدد کرتا ہے۔

$$RuBP + CO_2 \xrightarrow{RuBisCO} 2 \times 3PGA$$

RuBisCO جو دنیا میں سب سے زیادہ پایا جانے والا انزائم ہے۔ (معلوم ہے کیوں؟) اپنے نام کی مناسبت سے اس کی خاصیت یہ ہے کہ اس کی ایکٹیو سائٹ سے CO_2 اور O_2 دونوں وابستہ ہو سکتے ہیں۔ کیا آپ سوچ سکتے ہیں کہ ایسا کیسے ممکن ہو پاتا ہے؟ ریوبسکو کا میلان O_2 کے مقابلے CO_2 سے کہیں زیادہ ہوتا ہے۔ قیاس کیجیے کہ اگر ایسا نہ ہوتا تو کیا ہوتا؟ یہ میلان باہم آزما (Competitive) ہوتا ہے۔ اس کا فیصلہ کہ O_2 اور CO_2 میں سے کون خامرے سے جڑے گا، ان دونوں کا نسبتی ارتکاز کرتا ہے۔

C_3 پودوں میں O_2، RuBisCO سے کسی حد تک جڑتی ہے لہٰذا CO_2 کی تثبیت میں کمی واقع ہو جاتی ہے۔ یہاں RuBP پی جی اے کے دو سالموں میں تبدیل ہونے کے بجائے O_2 سے مل کر صرف ایک سالمہ بناتا ہے اور ایک پاتھ وے میں فاسفوگلائیکولیٹ ہوتا ہے جسے ضیائی تنفس کہتے ہیں۔ ضیائی تنفس کے پاتھ وے میں شکر اور اے ٹی پی کی تالیف نہیں ہوتی بلکہ یہ اے ٹی پی استعمال کر کے CO_2 خارج کرتا ہے۔ اس پاتھ وے میں اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کی بھی تالیف نہیں ہوتی۔ اس لیے ضیائی تنفس ایک فضول عمل ہے۔

ضیائی تنفس C_4 پودوں میں نہیں ہوتا کیونکہ ان میں ایک نظام ہوتا ہے جس کے ذریعے خامرے کی جگہ CO_2 کا ارتکاز بڑھ جاتا ہے۔ یہ اس وقت ہوتا ہے جب میزوفل سے حاصل شدہ C_4 ترشے بنڈل کے خلیوں میں ٹوٹ کر CO_2 خارج کرتے ہیں اور نتیجتاً خلیوں کے اندر CO_2 کا ارتکاز بڑھ جاتا ہے۔ لہٰذا RuBisCO خامرے کی آکسیجنیز (Oxygenase) سرگرمی کم ہو جاتی ہے یہ کاربوکسی لیز کی حیثیت سے عمل کرتا ہے۔

اب جب کہ آپ کو معلوم ہو گیا کہ C_4 پودوں میں ضیائی تنفس لینس ہوتا ہے یہ سمجھنا آسان ہوگا کہ ان پودوں میں پیداوار کیوں بہتر ہوتی ہے۔ اس کے علاوہ ان پودوں میں زیادہ درجۂ حرارت کو برداشت کرنے کی صلاحیت بھی ہوتی ہے۔

مندرجہ بالا بحث کی بنا پر کیا آپ C_3 اور C_4 پاتھ وے والے پودوں کا موازنہ کر سکتے ہیں؟ اگلے صفحہ پر دیے گئے جدول کا استعمال کیجیے اور اس میں خالی جگہوں کو پر کیجیے۔

جدول 13.1 C_3 اور C_4 پودوں کے فرق کو واضح کرنے کے لیے کالم 2 اور 3 کو بھریے۔

خصوصیات	C_3 پودے	C_4 پودے	مندرجہ ذیل میں سے منتخب کیجیے
خلیوں کی قسم جن میں کیلون دور ہوتا ہے۔			میزوفل/ بنڈل شیتھ/ دونوں
خلیوں کی قسم جن میں کاربوکسی لیشن کے ابتدائی عمل ہوتے ہیں۔			میزوفل/ بنڈل شیتھ/ دونوں
خلیوں کی کتنی اقسام میں CO_2 کی تثبیت ہوتی ہے			دو: بنڈل شیتھ اور میزوفل ایک: میزوفل تین: بنڈل شیتھ، پیلی سیڈ، اسپنجی میزوفل
ابتدائی CO_2 ایکسیپٹر کون سا ہے			آر یو ڈی پی/ پی ای پی/ پی جی اے
ابتدائی ایکسیپٹر میں کاربن کی تعداد			5/4/3
ابتدائی CO_2 تثبیت کا ماحصل کون ہے			پی جی اے/ اواے اے/ آر یو بی پی/ پی ای پی
ابتدائی CO_2 تثبیت کے ماحصل میں کاربن کی تعداد			5/4/3
کیا پودوں میں RuBisCO ہوتا ہے۔			ہاں/نہیں/ ہمیشہ نہیں
کیا پودوں میں پی ای پی کیس (PE Pcase) ہوتا ہے؟			ہاں/نہیں/ ہمیشہ نہیں
پودوں کے کون سے خلیوں میں RuBisCO ہوتا ہے۔			میزوفل/ بنڈل شیتھ/کسی میں نہیں
زیادہ روشنی کی موجودگی میں CO_2 تثبیت کی شرح			کم/ زیادہ/ درمیانی
کیا کم روشنی میں ضیائی تنفس واقع ہوتا ہے؟			زیادہ/نہیں کے برابر/کبھی کبھی
کیا زیادہ روشنی میں ضیائی تنفس واقع ہوتا ہے؟			زیادہ/نہیں کے برابر/کبھی کبھی
کیا کم CO_2 کے ارتکاز میں ضیائی تنفس واقع ہوتا ہے؟			زیادہ/نہیں کے برابر/کبھی کبھی
کیا زیادہ CO_2 کے ارتکاز میں ضیائی تنفس واقع ہوتا ہے؟			زیادہ/نہیں کے برابر/کبھی کبھی
معقول درجۂ حرارت			30-40 C/20-25C 40C سے زیادہ
مثالیں			مختلف پودوں کی پتیوں کا عمودی سیکشن کاٹیے اور خوردبین سے کرانز اناٹومی کا مشاہدہ کیجیے اور موزوں کالم میں ان کی فہرست بنائیے۔

13.10 ضیائی تالیف کو متاثر کرنے والے عوامل

(Factors Affecting Photosynthesis)

ان عوامل کو سمجھنا ضروری ہے جو ضیائی تالیف پر اثر انداز ہوتے ہیں۔ پودوں اور فصلوں کی پیداوار کا تعین کرنے کے لیے ضیائی تالیف کی شرح بہت اہم ہے۔ ضیائی تالیف کئی عوامل کے زیر اثر ہوتی ہے جو اندرونی (پودے) اور بیرونی ہوتے ہیں۔ اندرونی اسباب میں پتیوں کی تعداد سائز، عمر پتیوں کی بناوٹ میزوفل خلیے، کلوروپلاسٹ، اندرونی CO_2 کا ارتکاز اور کلوروفل کی مقدار شامل ہیں۔ اندرونی عوامل پودے کی نمو اور جینی رجحان پر منحصر ہوتے ہیں۔

بیرونی اسباب میں سورج کی روشنی کی دستیابی، درجہ حرارت، CO_2 کا ارتکاز اور پانی شامل ہیں۔ پودے میں ضیائی تالیف کے دوران یہ تمام اسباب بیک وقت اثر انداز ہوتے ہیں۔ چونکہ کئی باہمی عمل (Interact) کرتے ہیں لہٰذا CO_2 تثبیت یا ضیائی تالیف پر بیک وقت اثر انداز ہوتے ہیں، عموماً ایک سبب ضیائی تالیف کی شرح کو محدود کرنے کا باعث بنتا ہے۔ چنانچہ کسی ایک وقت پر شرح کا تعین اس سبب سے ہوگا جو مناسب سطح سے کم دستیاب ہوگا۔

کسی حیاتیاتی یا حیاتیاتی کیمیائی عمل پر کئی عوامل اثر انداز ہوتے ہیں تو اس پر بلیک مین (1905) کا تحدیدی عوامل کا قانون (Law of Limiting Factors) نافذ ہوجاتا ہے جس کو مندرجہ ذیل الفاظ میں بیان کرسکتے ہیں:

اگر کوئی کیمیائی عمل ایک سے زیادہ عوامل سے متاثر ہوتا ہے تو اس کی شرح کا تعین اس عامل کی بنیاد پر ہوگا جو اپنے کم از کم قدر کے قریب ہوگا: اگر اس عامل کی مقدار میں تبدیلی کی جائے تو یہ اس عمل کو براہ راست متاثر کرے گا۔

مثال کے طور، سبز پتے اور بھرپور روشنی اور CO_2 کی موجودگی میں بھی پودا ضیائی تالیف نہیں کرپائے گا اگر درجۂ حرارت بہت کم ہو۔ اس پتی کو اگر معقول مقدار میں درجۂ حرارت مہیا کرایا جائے تو ضیائی تالیف کا عمل شروع ہوجائے گا۔

13.10.1 روشنی (Light)

جب ہم ضیائی تالیف پر اثر انداز ہونے والے عامل کے طور پر روشنی کا تذکرہ کرتے ہیں تو ہمیں روشنی کی قسم، روشنی کی شدت اور مدت میں فرق کرنے کی ضرورت ہے۔ کم روشنی کی موجودگی میں پتیوں پر گرنے والی روشنی اور CO_2 کی تثبیت کی شرح میں خطی تعلق (Linear Relationship) ہوتا ہے۔ زیادہ روشنی کی موجودگی میں یہ شرح بتدریج بڑھتی ہے۔ مگر ایک جگہ پہنچ کر اس سے آگے نہیں بڑھتی چونکہ اس وقت دوسرے عوامل تحدیدی (Limiting) ہوتے جاتے ہیں (شکل 13.10)۔ ایک دلچسپ بات مشاہدے میں یہ آتی ہے کہ روشنی کی سیری (Saturation) بھرپور سورج کی روشنی کا دس فیصدی ہوتا ہے۔ چنانچہ قدرت میں سوائے ان پودوں کے جو سائے میں یا گھنے جنگلوں

شکل 13.10 ضیائی تالیف کی شرح پر روشنی کی شدت کا اثر

میں پائے جاتے ہیں روشنی شاذ و نادر ہی ضیائی تالیف کے لیے تحدیدی ہوتی ہے۔ آنے والی روشنی میں ایک خاص حد سے اضافہ کلوروفل کو نقصان پہنچاتا ہے اور ضیائی تالیف کی شرح کم ہو جاتی ہے۔

13.10.2 کاربن ڈائی آکسائڈ کا ارتکاز (Carbon Dioxide Concentration)

کاربن ڈائی آکسائڈ، ضیائی تالیف کے لیے بہت اہم تحدیدی عامل ہے۔ CO_2 کا ارتکاز فضا میں بہت کم ہوتا ہے۔ (0.03 اور 0.04 فی صدی کے درمیان)۔ اس ارتکاز میں 0.05 فی صدی تک کا اضافہ CO_2 تثبیت کی شرح میں اضافہ کرسکتا ہے، اس سے زیادہ کا طویل مدتی اضافہ نقصان دہ ثابت ہوسکتا ہے۔

CO_2 کے ارتکاز کے تئیں C_3 اور C_4 کا ردعمل مختلف ہوتا ہے۔ کم روشنی کی موجودگی میں دونوں گروپوں میں سے کوئی بھی زیادہ CO_2 کے ارتکاز پر کوئی ردعمل نہیں کرتا لیکن روشنی کی زیادہ شدت کی موجودگی میں C_3 اور C_4 دونوں پودے ضیائی تالیف کی شرح میں اضافہ دکھاتے ہیں۔ نوٹ کریں کہ C_4 پودوں میں سیری $360\mu l^{-1}$ ہوتی ہے جبکہ CO_2، C_3 پودے ارتکاز کے اضافے پر ردعمل کرتے ہیں اور سیری $450l^{-1}$ کے بعد مشاہدے میں آتی ہے۔ لہٰذا اس وقت CO_2 کی دستیابی کی سطح C_3 پودوں کے لیے تحدیدی ہے۔

C_3 پودے CO_2 کے زیادہ ارتکاز پر ردعمل کرتے ہیں اور ضیائی تالیف کی شرح میں اضافہ ہو جاتا ہے جس کی وجہ سے پیداوار میں بھی اضافہ ہوتا ہے، اس حقیقت کا استعمال گرین ہاؤس فصلوں مثلاً ٹماٹر اور شملہ مرچ پر کیا جا چکا ہے۔ ان کو کاربن ڈائی آکسائڈ سے بھرپور ماحول میں اگایا جاتا ہے اور اچھی پیداوار حاصل کی جاتی ہے۔

13.10.3 درجہ حرارت (Temperature)

تاریک تعامل خامروں کی موجودگی میں ہوتا ہے لہٰذا یہ درجۂ حرارت منضبط ہوتا ہے۔ حالانکہ نوری تعامل بھی درجۂ حرارت سے متاثر ہوتا ہے لیکن یہ اثر بہت کم حد تک ہوتا ہے۔ C_4 پودے زیادہ درجۂ حرارت پر ردعمل ظاہر کرتے ہیں اور ضیائی تالیف کی شرح بڑھا دیتے ہیں جبکہ C_3 پودے یہی عمل کم درجہ حرارت پر کرتے ہیں۔

مختلف پودوں میں ضیائی تالیف کے لیے معقول درجۂ حرارت پر انحصار ان کے مسکن پر ہوتا ہے جس سے وہ توافق کر لیتے ہیں۔ منطقہ حارہ والے پودوں میں یہ معقول درجۂ حرارت منطقہ معتدلہ والے علاقوں میں پائے جانے والے پودوں کے مقابلے میں زیادہ ہوتا ہے۔

13.10.4 پانی (Water)

حالانکہ پانی نوری تعامل میں حصہ لیتا ہے مگر عامل کی حیثیت سے پانی کا اثر براہ راست ضیائی تالیف پر ہونے کے بجائے خود پودے کے ذریعے سے ہوتا ہے۔ پانی کی کمی پتیوں کے اسٹومیٹا کو بند کرنے میں مدد کرتی ہے اور اس طرح CO_2 کی دستیابی میں کمی واقع ہو جاتی ہے۔ اس کے علاوہ پانی کی کمی کی وجہ سے پتیاں مرجھا جاتی ہیں اور ان کی سطح کا رقبہ کم ہو جاتا ہے اور یہ کہ ان کی استحالی سرگرمی (Metabolic Activity) میں بھی کمی واقع ہو جاتی ہے۔

خلاصہ

ضیائی تالیف کے ذریعے سبز پودے اپنی غذا خود تیار کرتے ہیں۔ اس عمل کے دوران فضا سے CO_2 پتیوں کے اسٹومیٹا کے ذریعے اندر داخل ہوتی ہے جس کا استعمال کاربوہائیڈریٹ خاص کر گلوکوز اوراسٹارچ بنانے میں ہوتا ہے۔ پودے کے صرف سبز حصوں میں ضیائی تالیف ہوتی ہے خاص کر پتیوں میں۔ پتیوں کے اندر موجود میزوفل خلیوں میں لاتعداد کلورو پلاسٹ ہوتے ہیں جو CO_2 کی تثبیت کے لیے ذمہ دار ہیں۔ کلورو پلاسٹ کے اندر جھلیوں میں نوری تعاملات واقع ہوتے ہیں، جبکہ کیمیائی تالیفی پاتھ وے اسٹروما میں انجام پذیر ہوتا ہے۔ ضیائی تالیف کو دو حصوں میں بانٹا جاسکتا ہے: نوری تعامل اور CO_2 کی تثبیت کا تعامل۔ نوری تعامل کے دوران نوری توانائی انٹینا میں موجود پگمینٹ کے ذریعے جذب ہوتی ہے اور مخصوص کلوروفل a سالمہ جسے مرکز تعامل کلوروفل کہتے ہیں، پر منتقل ہو جاتی ہے۔ دو فوٹوسسٹم ہوتے ہیں PSI اور PSII۔ PSI-PSII مرکز تعامل سینٹر میں 700nm انجذابی کلوروفل اے P700 سالمہ ہوتا ہے۔ جبکہ PSII میں P680 مرکز تعامل ہوتا ہے جو سرخ روشنی کو 680nm پر جذب کرتا ہے۔ روشنی جذب کرنے کے بعد الیکٹرون آزاد ہوجاتے ہیں اور PSII اور PSI کے ذریعے آخر میں این اے ڈی پر منتقل ہو کر این اے ڈی ایچ بناتے ہیں۔ اس عمل کے دوران تھائلا کوائیڈ کی جھلی کے آر پار پروٹون ڈھلانا پیدا ہوتا ہے۔ اے ٹی پیز خامرے کی F_0 حصے کے ذریعے منتقلی کی وجہ سے پروٹون ڈھلان کے ٹوٹنے سے جو توانائی خارج ہوتی ہے وہ اے ٹی پی کی تالیف کے لیے کافی ہوتی ہے۔ پانی کی ضیائی آب پاشیدگی PSII سے منسلک ہے جس کے نتیجے میں پروٹون اور O_2 خارج ہوتے ہیں اور الیکٹران PSII پر منتقل ہو جاتے ہیں۔

کاربن کے تثبیتی دور میں، RuBisCO خامرے کی مدد سے، CO_2 ایک پانچ کاربن پر مشتمل مرکب RuBP سے جڑ جاتی ہے جو تبدیل ہوکر تین کاربن پر مشتمل پی جی اے کے دو سالمے کی تالیف کرتا ہے کیلون دور کے ذریعے یہ شکر میں تبدیل ہو جاتے ہیں اور RuBP دوبارہ بنتا ہے۔ نوری تعامل کے دوران تالیف شدہ اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ اس عمل میں استعمال ہوجاتے ہیں۔ C_3 RuBisCO پودوں میں آکسیجنیشن عمل میں بھی مدد کرتا ہے جو ایک فضول عمل ہے اسے ضیائی تنفس کہتے ہیں۔

منطقہ حارّہ میں پائے جانے والے پودے ایک خاص قسم کی ضیائی تالیف کرتے ہیں جو C_4 پاتھ وے کہلاتا ہے ان پودوں کے میزوفل میں ہونے والی CO_2 تثبیت کا پہلا ماحصل چار کاربن پر مشتمل مرکب ہوتا ہے۔ کاربوہائیڈریٹ کی تالیف کے لیے کیلون پاتھ وے بنڈل شیتھ کے خلیوں میں انجام پذیر ہوتا ہے۔

1۔ پودوں کی باہری ساخت کو دیکھ کر کیا آپ بتا سکتے ہیں کہ پودا C_3 یا C_4 ہے؟ کیوں اور کیسے؟

2۔ پودے کی کس اندرونی ساخت کو دیکھ کر آپ C_3 اور C_4 پودے کو پہچان سکتے ہیں؟ وضاحت کیجیے۔

3۔ جب کہ C_4 پودوں کے کچھ ہی خلیے حیاتیاتی تالیفی کیلون پاتھ وے عمل انجام دے سکتے ہیں، اس کے باوجود ان میں پیداوار کہیں زیادہ ہوتی ہے۔ کیا آپ اس موضوع پر بحث کر سکتے ہیں کہ ایسا کیوں ہے؟

4۔ RuBisCO وہ خامرہ ہے جو کاربوکسی لیز اور آکسیجنیز دونوں کی حیثیت سے عمل کرتا ہے۔ آپ کیوں ایسا سوچتے ہیں کہ C_4 پودوں میں RuBisCO کاربوکسی لیشن کا کام زیادہ انجام دیتا ہے؟

5۔ فرض کیجیے کہ پودوں میں کلوروفل بی کا ارتکاز زیادہ اور کلوروفل اے بالکل نہیں ہے تو کیا ایسا پودا ضیائی تالیف کر پائے گا؟ پھر پودوں میں کلوروفل بی اور دیگر پگمنٹس کیوں موجود ہوتے ہیں؟

6۔ تاریک جگہ پر رکھی گئی پتی عموماً پیلی یا ہلکی سبز کیوں ہو جاتی ہے؟ آپ کے خیال میں کون سا پگمنٹ زیادہ مستحکم ہوتا ہے۔

7۔ ایک پودے کی پتی کا معائنہ کیجیے اور اس کے سائے کی طرف دار رخ اور سورج کی طرف والے رخ کا موازنہ کیجیے یا سائے میں رکھے ہوئے پودوں کا موازنہ روشنی میں رکھے ہوئے پودوں سے کیجیے۔ ان میں سے کس پودے کی پتیاں گہری سبز ہیں؟ اور کیوں؟

8۔ شکل 13.10 میں دیا گیا گراف ضیائی تالیف پر روشنی کے اثر کو دکھا رہا ہے۔ گراف کا بغور مطالعہ کر کے مندرجہ ذیل سوالوں کے جواب دیجیے:

(a) منحنی (Curve) کے کس نقطے (A، B یا C) پر روشنی تحدیدی عامل بن جاتی ہے؟

(b) خطہ اے میں کون سا عامل یا عوامل تحدیدی ہو جاتے ہیں؟

(c) منحنی میں C اور D کیا ظاہر کرتے ہیں؟

9۔ مندرجہ ذیل کا موازنہ کیجیے۔

(a) C_3 اور C_4 پاتھ ویز

(b) دائری اور غیر دائری فوٹوفوسفوریلیشن

(c) C_3 اور C_4 پودوں کی پتیوں کی اناٹومی